

REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO

Jean Carlos Henrique Azevedo¹

Rita de Cássia Teixeira Assis²

Paulo Roberto de Azvedo Souza²

koreiajr@gmail.com

ÁREA DE CONHECIMENTO: ENGENHARIAS

RESUMO

A fibra de carbono é uma tecnologia que sempre teve espaço em todas as áreas. Seu uso era de grande valia em áreas automotivas e na fabricação de peças, até que nos meados de 1960 a tecnologia foi usada pela primeira vez na construção civil. As estruturas podem sofrer danos não calculados previamente na fase de projetos, sofrer com alguns desgastes provenientes de intempéries, podem até mostrar deformações devido à inúmeros fatores. A fibra de carbono consegue, num espaço de tempo bem sutil, atender à demanda da estrutura e não modificar a rotina à qual os clientes estão inseridos. A alta durabilidade, resistência e a manutenção da esbeltez da estrutura em muitos dos casos, são apenas algumas das qualidades que serão ressaltadas neste documento.

PALAVRAS-CHAVES: Polímero; Tração; Compósitos; Durabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Na elaboração de um projeto estrutural, desde a sua concepção, tem-se como objetivo elaborar algo que, além de transmitir segurança e conforto durante o uso, seja economicamente viável e atenda às finalidades particulares ao que o mesmo será submetido. Nas etapas de um projeto, temos sua concepção, projeção e logo após, a execução do mesmo. Quando erros são cometidos durante alguns desses

¹ Acadêmico do 9º período do curso Engenharia Civil – Faculdade Vértix TR – UNIVÉRTIX.

² Graduada em Engenharia Civil; Especialista em Docência do Ensino Superior; Professora da Faculdade Vértix TR – UNIVÉRTIX.

² Graduado em Análise de Sistemas; Especialista em Psicopedagogia e Tecnologias Aplicadas à Educação e Mestre em Informática. Professor da Faculdade UNIVÉRTIX – Três Rios.

processos, as construções podem apresentar sinais patológicos que diminuem o tempo de vida, a segurança e a utilidade da mesma.

Tendo em vista o risco que uma estrutura pode submeter aos seus usuários e seus arredores, o reforço estrutural passa a ser uma opção mais viável do que a reconstrução de um projeto, e muito mais seguro que a alteração do mesmo após ter sido feita a execução.

Tornou-se, tanto ambientalmente, quanto economicamente, preferível adaptar as estruturas do que reconstruí-las, principalmente se métodos de reforço estrutural ágeis, efetivos e simples estão disponíveis (GARDEN; HOLLAWAY; THORNE, 1998, p. 3)

Muitos fatores podem acarretar a necessidade dos reforços estruturais, o concreto pode não atingir a resistência necessária e prevista em projeto e acaba não desempenhando como previsto e solicitado em projeto; as edificações podem apresentar deteriorações e comprometer a utilidade da mesma. Em muitos casos, incluindo os citados anteriormente, reforçar a estrutura passa a ser uma opção mais viável pelo tempo de execução e por ser economicamente e ambientalmente menos agressivos que a reconstrução de edificações.

Para uma intervenção breve e que não interrompa por muito tempo a utilização das estruturas e/ou edificações, a tecnologia da construção mostra inúmeros meios que evitam uma modificação agressiva à estrutura em si podendo comprometer sua vida útil. Existem opções como o encamisamento/recobrimento de pilares com concreto armado, instalação de placas de aço com epóxi, reestruturação por meio de perfis metálicos, uso de aço como protensão e demais.

O encamisamento com concreto pode apresentar falhas durante a cura, que além de retração e problemas de aderência, podem deixar o pilar com uma área um pouco maior, se feito em um estacionamento por exemplo, o cliente pode perder espaço e consequentemente perderá uma quantia de dinheiro a longo prazo. A instalação de placas de aço poderia ser ótima opção, mas ao fechar a superfície do concreto não é possível visualizar se ocorreram problemas de corrosão ou fissuração no local reforçado: “Diferentemente do aço, os compósitos de fibra de carbono não são afetados pela corrosão eletroquímica e resistem aos efeitos corrosivos de ácidos, álcalis, sais e outros agentes agressivos” (GARDEN; HOLLAWAY; THORNE, 1998, p. 206).

Além de manterem a esbeltez e singularidade inicialmente propostas na estrutura, mantendo suas características, o reforço estrutural com fibras de carbono vem sendo a solução mais viável. É superior às demais tecnologias por apresentar, além do ótimo desempenho, um tempo melhor de execução do reforço e acrescentar suas individualidades físicas e mecânicas ao local reforçado.

Tendo em vista os argumentos citados acima, este trabalho visa, além da teoria, relatar por meio de dados obtidos em resultados de experimentos já publicados, o motivo da fibra de carbono ser uma boa opção para reforçar uma estrutura. É uma tecnologia que pode ser muito explorada devido às suas propriedades mecânicas e métodos de aplicação, que visam manter a integridade das estruturas bem como a sua utilidade, para o cliente e usuários.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Histórico

Em 1960, a fibra de carbono teve importante papel na indústria asiática. Muito antes de ser utilizada na construção civil, a tecnologia era muito bem explorada na indústria automobilística. A fibra além de ser muito resistente, diminuía o peso das peças dos automóveis, tendo impacto no desempenho e na economia de combustível do mesmo (EMMONS, 1988).

O Japão sofre constantemente com abalos sísmicos e as fibras de carbono foram a opção para reforçar estruturas já existentes no país (SOUZA; RIPPER, 1998), atitude que se tornou preventiva para não prejudicar as estruturas, as suas individualidades e importâncias à sociedade. Em 1980, com a necessidade da recuperação e reforço de forma rápida, a fibra de carbono começou a ser utilizada para fins estruturais reforçando vigas e pilares na época. (MACHADO, 2002)

O CFRP, em inglês, Carbon Fiber Reinforced Polimeter, começou a ser amplamente utilizada para aumentar a resistência de seções distintas, podendo também aumentar a resistência à flexão quanto à esforços transversais de vigas e

lajes. O processo, no entanto, exige muitos cuidados na aplicação e amarração dos compósitos, assim como um detalhamento mais profundo das tensões envolvidas no deslizamento da interface entre o compósito e o concreto onde será aplicada (SOUZA; RIPPER, 1998).

A fibra de carbono foi utilizada pela primeira vez no Brasil para reforçar um viaduto localizado em Belo Horizonte. Em 1998, o viaduto Santa Tereza, que se trata de uma estrutura tombada pelo patrimônio histórico, teve a fibra de carbono como escolha para o seu reforço pois a esbeltez do material não iria causar alterações à estética do mesmo (BEBER, 2003).

2.2 Compósitos

Materiais compósitos são resultados de combinações de dois ou mais materiais. Os materiais, quando juntos, tendem a apresentar propriedades mecânicas mais interessantes que seus constituintes (ARBOLEDA, 2014).

O compósito de carbono é constituído por dois elementos muito importantes. O primeiro, que deixa as fibras coesas e protegidas para transferência de tensões de cisalhamento entre o local aplicado e a fibra em si, que é a matriz polimétrica (MACHADO, 2002). As resinas, componentes da matriz, são compostas por um agente principal, que no caso é a própria resina; e um catalisador, que enrijece e ajuda a manter unido o compósito final (HOLLAWAY, 1993).

O segundo elemento pode variar de acordo com a necessidade mecânica do reforço. Além do carbono, que será o mais trabalhado neste trabalho, vidro ou aramida também apresentam boa resistência a reforços (BEBER, 2003).

2.3 A fibra de carbono como compósito

As fibras de carbono, que são produzidas através de tratamento térmico, têm pequenas diferenças mecânicas entre si. As fibras que são produzidas a partir do processo denominado rayon, possuem alta resistência e alto módulo de elasticidade, porém o processo custa mais caro que os demais. O piche que é uma matéria prima

de mais fácil acesso, gera fibras que tem uma resistência de módulo de elasticidade muito baixo, o que pode implicar na qualidade final do produto. O mais recomendado é o PAN, poliacrilonitril, que engloba um baixo valor de produção e alcança resultados satisfatórios com suas propriedades físicas (BEBER, 2003).

O diferencial da fibra de carbono sobre as demais fibras são três fatores específicos: o baixo peso, a alta resistência e a grande rigidez. Como citado acima, o método pelo qual a fibra é fabricada influi diretamente na mecânica da mesma. A temperatura e a orientação das fibras têm influência direta no módulo de elasticidade do compósito, explicando em grande parte o motivo do método ser o mais escolhido por chegar a temperaturas próximas de 3000 °C (MACHADO, 2002; BEBER, 2003).

As fibras de carbono possuem uma ruptura frágil e brusca, o que caracteriza um comportamento linear elástico, o que pode ser evitado usando alguns mecanismos. Tal comportamento pode ser observado abaixo. A tabela abaixo apresenta as fibras citadas acima: vidro, aramida, carbono e também o aço.

2.4 Conceitos Abordados

De acordo com Wazlawik (2014), os conceitos abordados devem ter embasamento em documentos e publicações anteriores, visando assim o melhor entendimento de leitores que não tem familiaridade com o assunto abordado.

Para melhor entendimento e à questão de comparação, o documento aqui apresentado tem bases referenciais também de pesquisa a dissertação de mestrado apresentada por Larissa Azevedo Curty, apresentada e defendida em 18 de agosto de 2009. A dissertação intitulada “Estudo Experimental dos Consoles Curtos de Concreto Armado Reforçados com Compósitos de Fibras de Carbono”, apresenta uma pesquisa experimental, que também será utilizada em nossa metodologia.

Na pesquisa citada acima, a autora visa atestar a eficácia da tecnologia das fibras de carbono de forma empírica, utilizando corpos de prova com e sem o reforço da fibra. Assim como o documento citado, este aqui também visa atestar pelos

mesmos meios a superioridade da tecnologia da fibra de carbono sobre as demais técnicas de reforço estrutural.

3. METODOLOGIA

O estudo foi baseado em uma revisão bibliográfica, utilizando como fontes alguns artigos e publicações, teses de doutorado e mestrado, livros e demais referências citadas neste documento. Com base em pesquisa experimental, será elaborada a aplicação da fibra de carbono em corpos de prova, e consecutivamente a análise dos resultados obtidos.

Prodanov e Freitas (2013, p.131), falam ainda sobre as revisões bibliográficas:

Destacamos que a finalidade da pesquisa científica não é apenas um relatório ou uma descrição de fatos levantados empiricamente, mas o desenvolvimento de um caráter interpretativo no que se refere aos dados obtidos. Para tal, é imprescindível correlacionar a pesquisa com o universo teórico, optando por um modelo que sirva de embasamento à interpretação do significado dos dados e fatos colhidos ou levantados. Nesse sentido, todo projeto de pesquisa deve conter as premissas ou os pressupostos teóricos sobre os quais o pesquisador fundamentará sua interpretação.

Para verificar a eficiência da fibra de carbono, serão analisados resultados obtidos em artigos e demais publicações científicas. A revisão bibliográfica terá como principal função elaborar as discussões aqui defendidas. Para uma melhor conclusão sobre a tecnologia, a disponibilidade de suas vantagens será explorada em situações distintas de acordo com o conteúdo apresentado nos materiais analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 APLICAÇÃO DA FIBRA DE CARBONO

Machado (2002) descreve como primeiro passo da aplicação da fibra de carbono, além de uma equipe composta por profissionais qualificados e habilitados para o serviço, recuperar o substrato do concreto. A região onde é aplicada a fibra precisa de uma aderência segura, então as patologias que se encontrarem na superfície do concreto deverão ser corrigidas.

Uma das patologias que pode ser citada como exemplo é a corrosão nas armaduras, o que se faz necessário a remoção e recomposição da superfície

degradada. Após a reparação da superfície, é necessário a preparação da mesma. Nos casos em que a fibra será usada em áreas maiores e de condições críticas de colagem, é recomendado a utilização de abrasivos, jatos de água, limalhas metálicas e afins para a remoção de partes soltas.

As aplicações com o objetivo de reforço para os esforços de flexão e de cisalhamento em vigas, lajes ou pilares exigem que sejam estabelecidos sistemas de colagens eficientes para uma adequada transferência de esforços entre os meios no processo de colagem. Segundo Machado (2002), é necessário a aplicação com imprimadores primários (*primmers*), que preenchem os espaços vazios aumentando assim a aderência junto à película aplicada na superfície do concreto. Após a etapa dos *primmers*, é aplicada a massa regularizadora de superfície.

Quanto à fibra de carbono, a mesma deverá estar com o corte de acordo com o projeto estrutural de reforço estrutural. Uma vez cortadas, o próximo passo é a saturação para a aplicação. As fibras podem ser saturadas em bancada própria e logo depois transportadas para aplicação nas peças a serem reforçadas. Outro método também é a saturação via seca, na qual o processo é feito sobre o concreto da peça a ser reforçada, para logo em seguida ocorrer a aplicação da fibra.

Após a colocação das fibras, podem ser aplicados revestimentos estéticos ou proteções, tanto mecânicas quanto químicas, para ajudar a prevenir as agressões mecânicas ou químicas provenientes do ambiente ou particularidades do local da instalação.

4.2. EFICIÊNCIA COMPROVADA

Para exemplificar em prática o funcionamento do reforço estrutural com a fibra de carbono, opta-se pela realização de ensaios com as vigas bi-apoiadas submetidas a esforço de flexão de igual intensidade e distância dos extremos, tendo a aplicação da carga a cerca de $\frac{1}{3}$ do comprimento entre os apoios. Este procedimento possibilita estudar o reforço em regiões onde exista momento fletor (flexão pura) e em regiões onde existam esforços conjuntos, flexão e cisalhamento (flexão simples).

Os critérios adotados para as solicitações e resultados do ensaio seguem os padrões adotados pela norma brasileira NBR 6118 (1978) e ACI (1995),

representando assim de maneira satisfatória o comportamento das peças quando submetidas a carregamento de serviço.

Para efeitos de comparação, os ensaios foram feitos em 5 tipos diferentes de situações para uma melhor análise da eficiência da fibra, tendo as particularidades de cada situação divididas em grupos. No primeiro grupo, com duas vigas, as vigas apresentadas não contêm nenhum tipo de reforço estrutural. No segundo grupo, uma fita de fibra de carbono inserida, apenas uma viga foi utilizada para a situação. No terceiro grupo, apenas uma viga com duas fitas de fibra de carbono coladas. No quarto grupo, duas vigas monolíticas com 2 fitas de fibra de carbono coladas. As vigas de referência apresentaram resistência até os 65 kN. No grupo 5, as vigas pré-fissuradas, e que de certo ponto simulam um caso real de reforço estrutural com a fibra, alcançaram a média de 89 kN. O resultado exemplifica um acréscimo de 36,92% na resistência apresentada pela viga de referência.

4.3. COMPARAÇÃO COM AS DEMAIS FIBRAS

As fibras oferecem resistência e rigidez ao compósito. Tais propriedades variam de acordo com o tamanho, gramatura e disposição do mesmo na matriz do produto final. O grau de solicitação, as condições ambientais e o tipo de estrutura são de grande importância para a escolha da fibra. Além da fibra de carbono, existem também fibras de vidro e as fibras de aramida.

Se comparado a resistência a tração, a fibra de carbono apresenta uma resistência a compressão de 78%, a fibra de vidro 55% e a fibra de aramida 20%. De modo geral, as fibras de carbono e vidro quando submetidas a tensões de compressão, apresentam desempenho superior no reforço de elementos estruturais (PERELLES, 2013).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentam-se neste tópico, as conclusões obtidas após a revisão dos materiais e documentos citados. Durante as diversas fases de elaboração da temática

escolhida, foi adquirido conhecimento necessário para uma elaboração eficaz do ponto de vista final. Sendo assim, com os resultados apresentados, pode-se alcançar o objetivo inicial do documento.

Os resultados apontam uma larga vantagem da fibra de carbono sobre suas concorrentes no mercado. Mesmo apresentando métodos semelhantes de aplicação e correspondendo à esforços, as particularidades da fibra de carbono oferecem um leque de opções para seu uso no ambiente da construção civil.

A importância desse trabalho, no campo da Engenharia Civil, deve-se à demanda da tecnologia no mercado. O custo é bem relativo, já que é um material de alta qualidade, o preço claramente vai corresponder ao valor da eficiência da mesma. Não apenas para mudar o panorama da familiaridade para com a tecnologia e consequentemente uma possível acessibilidade melhor à tecnologia, mas para que fomenta a pesquisa para maior uso da fibra no meio de nosso futuro como engenheiros. Além do citado anteriormente, espera-se que a pesquisa aqui presente possa contribuir para trabalhos futuros, colaborando para o desenvolvimento da fibra de carbono.

6. REFERÊNCIAS

ALZATA ENGENHARIA, “**Reforço Estrutural em Vigas - Fórum Trabalhista**”, Goiânia/GO, 2020.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI 440 F-2001. “**Guidelines for the selection, design and installation of fiber reinforced polymer (FRP) systems for external strengthening of concrete structures.**” 96p., USA, 2001.

ARBOLEDA, D., Carozzi, F. G., Nanni, A., & Poggi, C. (2016). “**Testing procedures for the uniaxial tensile characterization of fabric-reinforced cementitious matrix composites.**”, Journal of Composites for Construction 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR-6118: “**Projeto de**

Estruturas de Concreto Armado.”, Rio de Janeiro, 2003.

BARRETO & PASSAURA, **“Reforço Estrutural Apartamento”**, Curitiba, 2013.

BEBER, A. J. **“Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono.”** Tese (Doutorado). PPGE-UFGRS, 2003.

CURTY, L. A. **“Estudo Experimental dos Consoles Curtos de Concreto Armado Reforçados com Compósitos de Fibras de Carbono.”** Dissertação de Mestrado, PUC–RIO, Rio de Janeiro, 2009.

DE OLIVEIRA, IGOR B. , **“Estudo de Reforço de Vigas e Lajes com Compósitos de Fibra de Carbono Colados”**, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2016

EMMONS, P. H.; VAYSBURD, A. M.; THOMAS, J., **“Strengthening Concrete Structures, Part I. Concrete International.”**, Detroit, v. 20, n. 3, p.53-58, abr. 1998.a.

ENGEPROL ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO, **“Remoção Concreto Deteriorado”**, São Paulo, 2013.

GARDEN, A. M.; HOLLAWAY, L. C.; e THORNE, A. M. **“The Strengthening and Deformation Behavior of Reinforced Concrete Beams Upgraded Using Prestressed Composite Plates,”** Materials and Structures,V. 31, No. 4

HOLLAWAY, L. C. **“Polymer Composites for civil and structural engineering.”** Glasgow, Blackie Academic and Professional, 1993.

JERONIMO HOLTZ SILVA FILHO, JULIO. **“Reforço à Torção de Vigas de Concreto Armado com Compósitos de Fibras de Carbono”**, Pontífica Universidade Católica - Rio de Janeiro, 2007

JUVANDES, L. F. P. **“Reforço e reabilitação de estruturas de concreto usando materiais compósitos de CFRP.”** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1999. 302 p. Tese de Doutorado.

MACHADO, S. D. A. (2002). Engenharia didática. In: MACHADO, S. D. A. (org.). **“Educação Matemática: uma introdução .”** 2 ed. São Paulo: Educ.

PERELLES, D. H.; MEDEIROS, M. F.; GARCEZ, M. R. **“Aplicação da análise hierárquica como ferramenta de tomada de decisão para escolha do compósito de reforço com polímeros reforçados com fibras.”** Revista ALCONPAT. 2013. Disponível em: <<https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/52>>

PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, C. E. , **“Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.”** 2^a ed., Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul, 2013.

SERRA, MARCUS; LIRA, THIAGO, **“Fibra de Carbono: Reforço Estrutural em Estruturas de Concreto Armado”**, Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, 2019

SILVA FORTES, ADRIANO **“Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Fibras de Carbono.”**, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001

SILVA FILHO, J. N. **“Análise Experimental de Vigas “T” em Concreto Armado Reforçadas à Flexão com FRP Submetidas a Carregamentos Pseudo-estáticos e Cíclicos.”** Tese (Doutorado). Universidade de Brasília. Brasília, 2005.

SOUZA, V.C.M., RIPPER, T. **“Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.”** 1ed. São Paulo: Pini, 1998. 257 p.